

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Geotermobarometria y Quimica Mineral del Pluton Sienito “Pajeú”

Serra Talhada, Pernambuco, NE de Brasil

Cristina Nancy Reyes

Pesquisas em Geociências, 25 (1): 61-74, jan./abr., 1998.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21174>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - jan./abr., 1998.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Geotermobarometria y Química Mineral del Pluton Sienítico "Pajeú" Serra Talhada, Pernambuco, NE de Brasil

CRISTINA NANCY REYES

Comisión Nacional de Energía Atómica, Unidad de Actividad de Geología, Avenida del Libertador 8250
C.P. 1429 Capital Federal, Buenos Aires, Argentina

(Recebido em 8/97. Aceito para publicação em 3/98.)

Abstract - The Pajeu Syenitic Complex, Serra Talhada, Pernambuco province, northeastern Brazil is tectonically emplaced within the framework of Neoproterozoic (Brasiliano). In the present work were studied whole rock and specific mineral chemical data (85°24' - 816°31' S and 3819'8" - 3836'2" W). Two distinct petrographic facies have been identified. The predominant porphyritic syenite facies is characterized by perthite microcline megacrysts (up to 8 cm long) and fine grained syenite; both facies have distributed melanocratic microgranular enclaves of syenitic composition. The mineral assemblage comprising alkali feldspar, plagioclase, quartz, biotite, hornblende and accessory amounts of zircon, opaque minerals, epidote, allanite, sphene etc. The geochemical signatures define overlapping calc-alkaline and shoshonitic affinities and metaluminous to peraluminous nature. The complex is characterized by silica enrichment (62.2%-72.4%), moderate alumina (14%-16.6%) and high alkali abundance (8.6%-9.1%). The enclaves have low silica (54.2%-56.4%) and corresponding enrichment in mafic phases. High alkali abundance, preponderance of K₂O over Na₂O and TiO₂ variation between 0.22% to 0.57% are in agreement with shoshonitic affinities. Mineral chemistry of amphiboles enables their classification as edenite - magnesian hornblende. The micas are mainly magnesian biotite. Plagioclase is usually oligoclase (An₂₀) and K-feldspar is orthoclase. The geochemical signatures of biotite and amphibole are in perfect agreement with the other shoshonitic rocks of northeastern of Brasil. Temperatures estimated for calcic plagioclase and amphibole pairs indicate a temperature range of 646-671°C for porphyritic syenite and 629-650°C for enclaves. Geobarometric estimates, using Al in amphiboles indicate equation pressure of 1,48 Kbar to 2,26 Kbar for porphyritic syenite and 1,01 Kbar for enclaves. Other pressure estimates yielding 2,25 Kbar to 2,91 Kbar and 1,76 Kbar respectively, though at variance with the earlier estimates correspond with epizonal emplacement of the pluton.

Key words: shoshonitic, peraluminous, calc-alkaline.

INTRODUCCION

El plutón sienítico Pajeú, de edad neoproterozoico (Brasiliano, aproximadamente 600 Ma), situado entre las latitudes 8° 5' 24" - 8° 16' 31" sur y las longitudes 38° 19' 8" - 38° 36' 2" oeste. Está ubicado en el noroeste de Brasil, específicamente en la Provincia Geológica Borborema e incluido en el terreno Alto Pajeú (Santos, 1995). Se encuentra a 40 km al sur de la ciudad de Serra Talhada, estado de Pernambuco, Brasil. La región es denominada "sertão" caracterizado por una vegetación de tipo xerófila. El batolito Pajeú presenta una forma alargada, con un eje mayor orientado en la dirección NE-SW, de una extensión aproximada de 40 km de longitud, el eje menor tiene una longitud de 10 km, cubriendo un área de aproximadamente 400 km². Esta orientación está dada por fallamientos transcurrentes de dirección NE - SW que fueron afectadas por dos lineamientos regionales que son, Pernambuco al sur y Patos al norte, ambos tienen dirección E - W.

El objetivo de este estudio fue: caracterizar el cuerpo plutónico desde el punto de vista petrográfico,

geoquímico y utilizando los datos de análisis de microsonda electrónica obtener valores sobre la temperatura y la presión para el cuerpo en cuestión.

MÉTODOS EMPLEADOS

Se utilizaron fotografías aéreas (escala aproximada 1:70.000) para la fotointerpretación del área. Se realizaron varias visitas al campo donde se obtuvieron aproximadamente 50 muestras; se prepararon las respectivas secciones delgadas; se seleccionaron 20 muestras para análisis químicos de elementos mayores y trazas; de las 20 muestras se utilizaron 15 muestras para análisis de elementos de las tierras raras. También se realizaron estudios de minerales mediante el microscopio de luz transmitida y se utilizó microsonda electrónica para el estudio de la química mineral de 4 muestras.

La composición mineralógica cuantitativa se determinó mediante análisis modales utilizando un contador de puntos mecánico marca SWIFT.

Para la realización de diagramas de clasificación se utilizaron software específicos.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Las rocas del Complejo Pajeú fueron intruidas en el basamento metamórfico, denominado Complejo Sertânia formado por las formaciones São Caetano y Poço de Salgueiro. La formación São Caetano está constituida por metapelitas con intercalaciones de metapsamitas y metabasitas. Por otra parte, la formación Poço de Salgueiro representa una facie metavulcano-sedimentaria con predominancia de metasedimentos de origen volcanoclástico y grauvacas pelitavolcánicas.

La Provincia Borborema fue recientemente dividida en subdominios o terrenos por Santos (1995). Por terreno se entiende una unidad geológica regional limitada por fallas, con características estratigráficas, estructurales, petrológicas, ambientes tectónicos propios, y una historia geológica diferente de terrenos vecinos. El batolito Pajeú está incluido en el Terreno Alto Pajeú, el cual posee un complicado modelamiento y fue afectado por las zonas de fallamiento denominadas Três Umbuzeiros y Barra da Forquilha. Todo el conjunto se presenta profusamente inyectado por intrusiones graníticas más jóvenes.

La Provincia Borborema está integrada por un sistema de plegamientos de edad brasiliana; el batolito Pajeú está comprendido dentro de la Faja Pajeú-Paraíba, esta faja esta caracterizada por un intenso magmatismo en diferentes estadios: *stocks* tardíos, *stocks* de gabro y dioritos, diques y lentes de ortoanfibolitas y ortopiroxenitas marcando una fase inicial de granitos sinorogénicos de sienitos y cuarzo sienitos (540 Ma) Brito Neves (1975).

Algunos núcleos de basamento del Sistema Pajeú-Paraíba (Grupo Uauá - Bom Nome - Monteiro) poseen edades transamazónica/arqueanas (2,7 a 2,0 Ga), donde las asociaciones supracorticales fueron generadas y deformadas en un evento al final de Mesoproterozoico e inicio del Neoproterozoico (1,1 a 0,9 Ga), luego fueron retrabajadas en el Ciclo Brasileiro (650 a 550 Ma), en este ciclo se emplazaron varios cuerpos plutónicos.

En base a las relaciones de campo, forma y alineación del cuerpo con la tectónica regional, sugiere corresponder a un cuerpo sinorogénico.

En base a los estudios de los afloramientos se distinguieron dos facies texturales, una facie porfírica que corresponde al 80 % del área estudiada y una facie de grano fino que esta restringida al

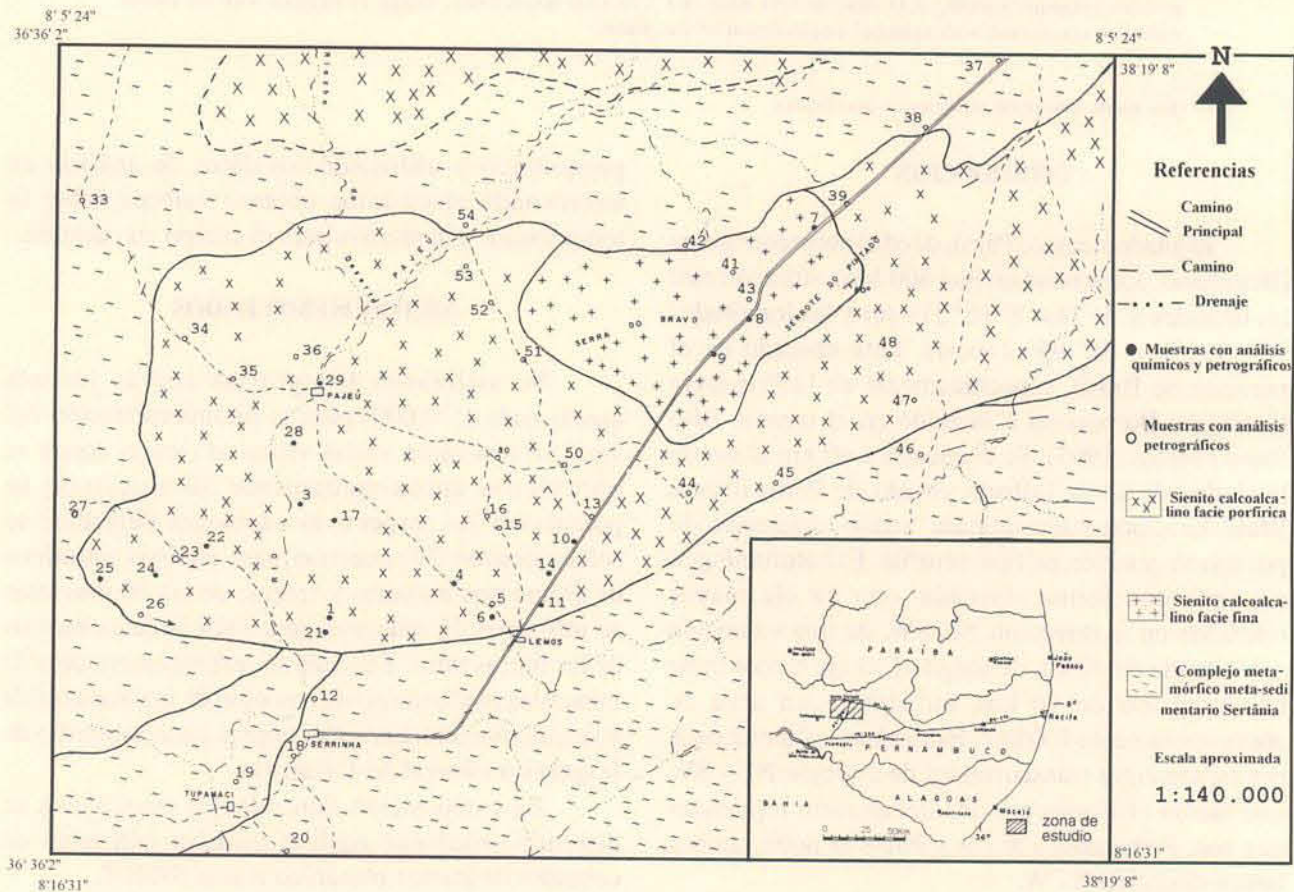


Figura 1 - Mapa geológico del área del batolito Pajeú, Serra Talhada, Pernambuco, Brasil.

sector centro-norte del cuerpo; ambas facies están caracterizadas por la presencia de enclaves máficos y en menor proporción filones pegmatíticos y aplíticos que corresponden a los estadios finales de la activación magmática.

Desde el punto de vista químico, mineralógico y geoquímicos ambas facies no presentan diferencias notables, por lo que se supone que se trata de rocas que indican diferentes condiciones de cristalización.

En la Fig. 1 se esquematiza la geología de la región.

PETROGRAFIA

El cuerpo en estudio es relativamente homogéneo desde el punto de vista composicional, con pequeñas variaciones en la mineralogía y en la textura. Se identificó en el batolito Pajeú dos facies texturales: una porfírica constituida por megacristales rosados, vítreos, tabulares de K-feldespato. El eje mayor de los cristales de K-feldespatos tienen dimensiones que varían entre pocos cm hasta 8 cm de longitud y el eje menor es de hasta 4 cm. La otra facie es de granulación fina con cristales de dimensiones menores a 1 cm, muy homogénea. El batolito Pajeú se caracteriza por la presencia de abundantes enclaves microgranulares melanocráticos en ambas facies, estos tienen formas, distribución y tamaños variables. Son poco frecuentes los enclaves con formas redondeadas y son más abundantes los que presentan formas lenticulares, los bordes son lobulados indicando una viscosidad similar para ambos magmas. Presentan dimensiones variables desde pocos centímetros hasta 2 m de longitud. Presentan igual mineralogía que las facies porfiríticas y fina; los cristales son de pequeño tamaño y tienen composición sienítica. De la observación de campo se sugiere procesos como mezcla de magmas (*mixing*) y coexistencia de magmas (*mingling*) entre las facies félsicas y máficas. En algunos afloramientos se ha observado complejos del tipo *net-veined* sugerido para una coexistencia de magmas. Las composiciones químicas de las biotitas y los anfíboles de las facies félsicas y melanocráticas son similares, esto es sugerido para un equilibrio químico de "mingling" de magmas.

De acuerdo a la literatura los megacristales de K-feldespatos pueden tener un origen magmático o presentar un crecimiento metasomático según Vernon (1986). McMurtry (1982) estudió la distribución del Ba en los feldespatos alcalinos como un indicador del origen, conviniendo que, si los cristales de K-feldespatos presentan elevados tenores de Ba en el núcleo reflejaría un origen magmático. En el batolito

Pajeú no se pudo determinar la zonación del Ba en los cristales por falta de una cantidad suficiente de análisis químicos. En los afloramientos visitados los megacristales se presentan formando agrupaciones evidenciando un proceso de acumulación de cristales por gravedad, o por flujos magmáticos; muchas veces estos cristales se presentan sin orientación definida y otras veces orientados subparelamente siguiendo la foliación regional. Vernon (1986) relaciona la orientación preferencial de los cristales y las agrupaciones como probable origen magmático.

La mineralogía de ambas facies es bastante similar, los minerales esenciales son fundamentalmente feldespatos alcalinos (microclino y ortoclasa). Frecuentemente presentan maclas en dos direcciones, según la ley de albita y otra según la ley de periclina. Esto da, generalmente una estructura en *cuadrícula o parrilla*. Una característica notable es que estos feldespatos son extremadamente peritéticos. Le siguen en orden de abundancia las plagioclasas (An₁₀₋₂₀), a veces con mirmequitas, también están presente los cuarzos, anfíboles y biotitas. Los minerales accesorios son titanita, epidoto, allanita, apatita, circón y magnetita. Los minerales secundarios o de alteración son epidoto, calcita, magnetita y minerales de las arcillas.

La textura más frecuente es porfirítica con una matriz granular hipidiomórfica. La secuencia de cristalización, por observación microscópica, es la siguiente: (magnetita, circón, apatita) ⇒ (epidoto, allanita, titanita) ⇒ (anfíbol, biotita) ⇒ (plagioclasa, feldespatos alcalinos ⇒ feldespatos peritéticos) ⇒ (cuarzo) ⇒ (minerales de alteración: magnetita secundaria, calcita y minerales de las arcillas).

En los enclaves microgranulares melanocráticos son abundantes los anfíboles, se pueden presentar formando *clots* o agrupaciones, en orden de abundancia le siguen las biotitas, los feldespatos alcalinos, plagioclasas y cuarzo. Entre los minerales accesorios presentes el más importante es la apatita acicular, con una relación de ancho: largo de 1:15. También se presenta apatita con formas subredondeadas en las facies porfirítica y en los enclaves. Otro accesorio importante es la titanita con formas idiomórficas, romboédricas de colores marrones naranja estos colores, para Guimarães *et al.* (1993), es debido a que concentran importantes cantidades de elementos de tierras raras, esto es una característica de las rocas shoshoníticas. Una similar mineralogía fueron descritas para cuerpos plutónicos shoshoníticos del Noroeste de Brasil por Guimarães *et al.* (1993).



Fotografía 1 - Aspecto de campo de los enclaves melanocráticos de composición sienítica en el batolito Pajeú - PE, Brasil.

En la fotografía 1 muestra un aspecto frecuente de los enclaves melanocráticos y en la fotomicrografía 1 se presenta la mineralogía de las facies porfíri.

GEOQUIMICA

Para la caracterización geoquímica se utilizaron 20 análisis de muestras de roca total, de las cuales se estudiaron los elementos mayoritarios y trazas para las facies porfírica, fina y enclaves (Tablas 1 y 2).

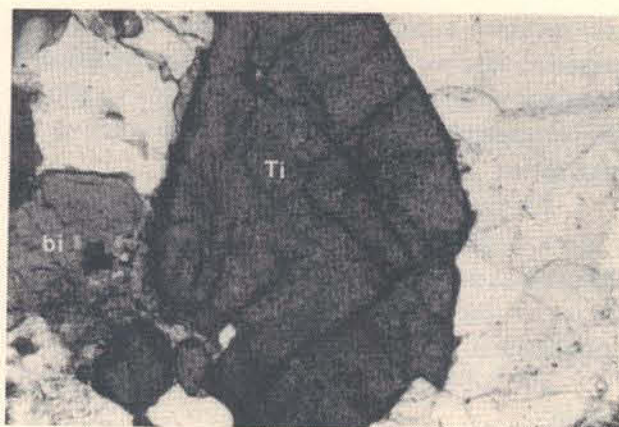
Las facies porfírica y fina presentan elevados tenores de SiO_2 (64.4 - 72.4%) mientras que los enclaves son menos silicáticos (54.2 - 56.3%); los elementos alcalinos ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) presentan tenores de (8.7 - 10.7%). Están levemente enriquecidas en Al_2O_3 (14 - 16.6%) clasificándose como rocas metaluminosas a peraluminosas.

En base a los diagramas de variación se observan correlaciones negativas para la mayoría de los óxidos, indicando el fraccionamiento progresivo de las facies máficas, óxidos de Fe, y minerales accesorios. De la observación de estos diagramas se puede decir que las facies melanocráticas son las menos diferenciadas y presentan los mayores tenores de CaO, FeO, MgO, MnO, Ti_2O_5 y P_2O_5 .

Los elementos trazas presentan correlación negativa para el Ba ($\cong 1390$ ppm), Sr ($\cong 796$ ppm), Zr ($\cong 272$ ppm), sugiriendo el fraccionamiento de apatita, circón, plagioclasa y feldespatos potásicos.

El batolito de Pajeú fue clasificado como perteneciente a la serie calcoalcalina con afinidad shoshonítica de acuerdo a los parámetros dados por Morrison (1980).

En el noroeste de Brasil fueron citados algunos granitoides con afinidad shoshonítica, por ejemplo el batolito de Terra Nova (PE), Bom Jardim (PE) porción este del batolito Texeira (PB) y los cuerpos plutónicos



Fotomicrografía 1 - Mineralogía de accesorios de la facie porfírica. Ti=titanita romboédrica; Bi=biotita rodeadas por cuarzo.

de Serra Grande (PE) y Arapuá (PE). Las conclusiones dadas por Guimarães & Da Silva Filho (1990) sobre el Complejo shoshonítico Bom Jardim es que se trata de un magmatismo tardío, posterior a una colisión continental brasiliana.

QUIMICA MINERAL

Para el estudio de la química mineral fueron utilizados más de 72 análisis químicos de las especies minerales más importantes. Fue utilizado una microsonda electrónica marca Jeol JXA-8600 con automatización TRACOR-NORAM de la Universidade de São Paulo, Brasil. Las condiciones de operación fueron: 15 Kv, 10 mA, 6 seg. tiempo de conteo, con patrones de silicatos y óxidos; el análisis cualitativo y cuantitativo fue por WDS (wavelength-dispersive system) y EDS (energy-dispersive system). Procedimiento de corrección ZAF.

Para las principales especies minerales se realizaron diagramas de clasificación los cuales se pueden sintetizar de esta manera:

Anfiboles - Se caracterizan por presentar formas subidiomórficas, coloración verde, clivaje basal, generalmente formando *clots* de cristales. Los porcentajes modales son variables oscilando entre 5 % hasta 17% para las facies porfírica y fina, y 30 % hasta 50 % para los enclaves microgranulares melanocráticos sieníticos. Las inclusiones más frecuentes son de circón, apatita acicular y subredondeadas, opacos idiomórficos y opacos de alteración. (Tablas 3 y 4).

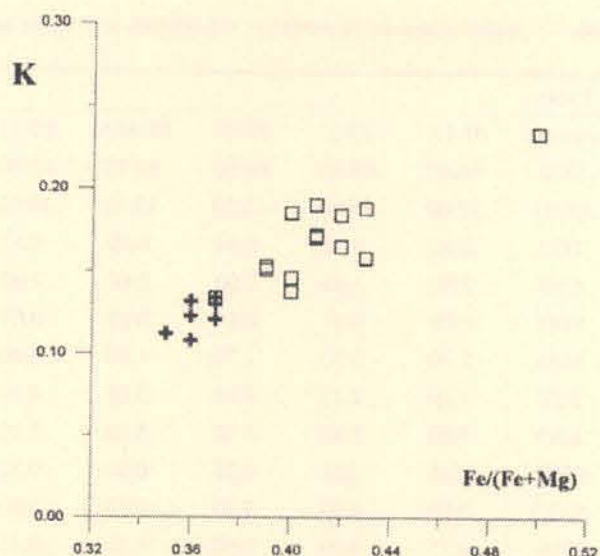
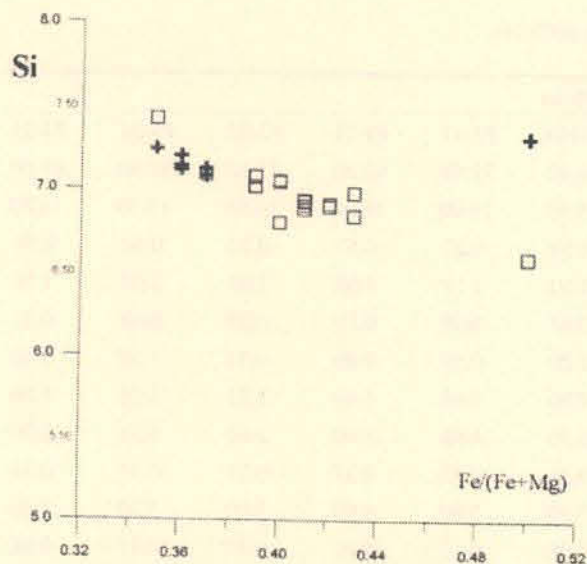
Para la clasificación de anfíboles se utilizaron los diagramas propuesto por Leake (1978). Se clasifican dentro del grupo de los anfíboles cálcicos y se representan en el campo de magnesio-hornblenda a edenita. Estos anfíboles petrográficamente y

Tabla 1 - Análisis químicos de elementos mayoritarios y trazas de las facies porfíricas.

Facies	Porfírica										
muestras	PJ-1A	PJ-3	PJ-4B	PJ-10A	PJ-11	PJ-14A	PJ-17	PJ-21	PJ-22	PJ-24	PJ-25
SiO2	64.40	69.10	66.80	64.70	62.40	64.40	72.40	62.20	71.10	67.60	67.60
Al2O3	15.00	15.00	15.20	15.70	16.60	15.40	14.00	16.00	14.50	15.10	14.80
TiO2	0.52	0.32	0.34	0.40	0.57	0.53	0.27	0.57	0.22	0.44	0.54
CaO	2.90	1.40	2.00	2.60	2.90	2.90	1.10	3.00	1.00	2.00	1.70
MnO	0.08	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.08	0.10	0.07	0.08	0.11
MgO	2.30	0.70	1.70	1.80	2.30	2.20	0.59	2.90	0.51	1.30	2.40
FeT	4.20	2.71	3.01	3.64	4.10	4.00	2.04	4.40	2.01	3.10	5.00
K2O	5.60	5.50	5.70	5.50	5.10	5.30	4.80	5.40	5.60	5.30	2.90
P2O5	0.35	0.24	0.25	0.30	0.32	0.36	0.12	0.37	0.15	0.33	0.13
Na2O	3.60	4.00	3.70	4.20	4.50	3.90	3.80	4.00	3.90	3.70	3.60
H2O+	0.25	0.29	0.50	0.36	0.13	0.08	0.13	0.21	0.34	0.37	0.68
CO2	0.40	0.28	0.22	0.24	0.56	0.40	0.29	0.35	0.28	0.28	0.22
Total	99.6	99.59	99.53	99.50	99.55	99.54	99.62	99.50	99.68	99.60	99.68
Rb	224	283	277	208	215	215	270	206	271	220	114
Ba	1170	1673	1740	2012	1576	1865	660	1477	1014	1337	776
Sr	912	851	904	1172	864	1052	439	839	601	844	285
Nb	14	19	15	208	15	19	24	18	15	22	14
Y	23	25	24	22	13	28	5	13	9	17	22
Zr	283	299	256	310	412	302	192	272	226	227	214

Tabla 2 -Análisis químicos de elementos mayoritarios y trazas de las facies fina y enclaves.

Facies	Fina				Enclaves				
Muestras	PJ-6	PJ-7B	PJ-8	PJ-9	PJ-4A	PJ-10B	PJ-28C	PJ-28E	PJ-29B
SiO2	63.60	64.80	72.20	72.10	56.40	56.50	55.80	54.20	56.30
Al2O3	15.70	16.80	14.50	14.50	14.60	14.10	17.30	16.20	16.10
TiO2	0.53	0.33	0.24	0.19	0.83	0.74	0.93	0.73	0.73
CaO	2.50	1.60	1.10	1.00	5.20	6.10	3.80	5.00	4.60
MnO	0.07	0.07	0.06	0.04	0.14	0.18	0.12	0.15	0.14
MgO	2.20	0.81	0.38	0.30	5.40	5.70	2.30	3.80	3.10
FeT	4.02	3.35	1.81	1.78	6.50	6.30	7.70	7.50	6.90
K2O	5.60	6.00	5.10	5.0	6.5	6.20	4.80	5.20	5.10
P2O5	0.32	0.26	0.07	0.05	0.71	0.92	0.99	1.30	0.93
Na2O	4.10	4.70	3.70	4.10	2.60	2.50	4.40	4.00	4.40
H2O+	0.32	0.32	0.28	0.24	0.61	0.10	0.80	0.80	0.54
CO2	0.52	0.33	0.23	0.37	0.16	0.14	0.16	0.31	0.38
Total	99.48	99.37	99.67	99.67	99.55	99.48	99.10	99.19	99.22
Rb	246	219	221	289	316	211	107	148	145
Ba	2192	2523	934	1061	1604	1670	3976	3260	3430
Sr	1036	1476	465	466	776	811	1954	1530	1615
Nb	20	17	16	19	19	17	18	19	17
Y	31	26	nd*	20	22	24	13	28	23
Zr	321	368	222	248	220	213	372	275	305



Figuras 2 y 3 - Diagramas Si y K vs Fe/(Fe+Mg). Símbolos: (□) anfíboles de las facies porfíricas (+) anfíboles de las facies máficas.

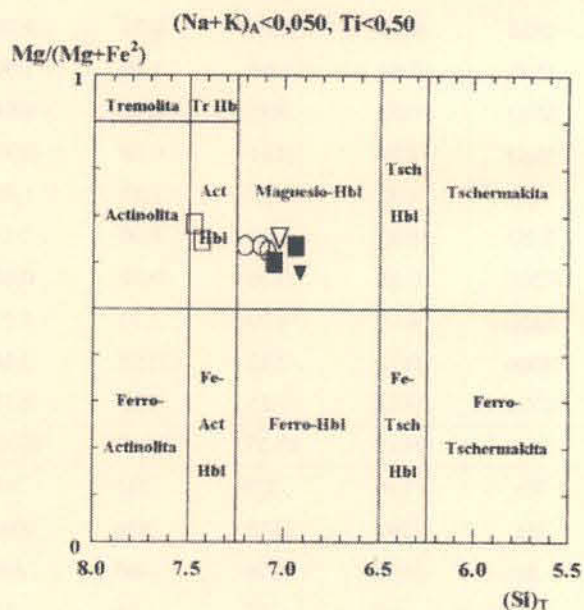
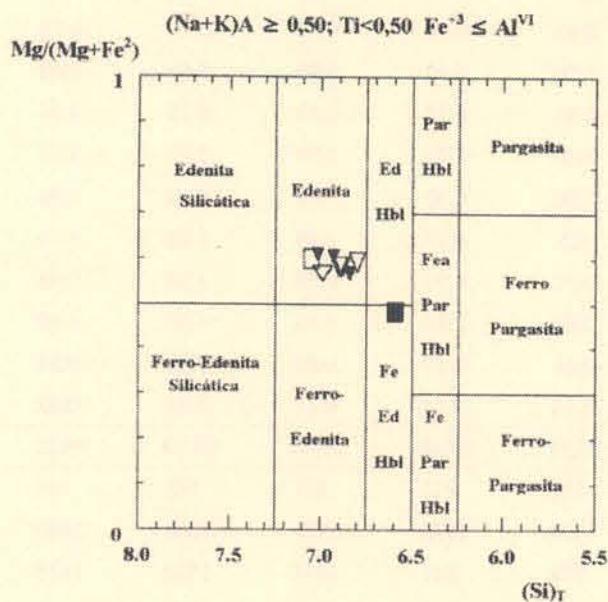
químicamente son similares a los del Complejo shoshonítico de Bom Jardim-PE, Brasil (Guimarães 1989) y Terra Nova - PE, Brasil (Da Silva Filho 1989).

De acuerdo a los diagramas se pueden observar dos poblaciones diferentes de anfíboles, una Fe-Mg (hornblendas y edenitas) y otra mas magnesianas, probablemente tardías, que son las hornblendas actinolíticas (Figs. 2 y 3).

De acuerdo a los diagramas K y Si vs (Fe/(Fe+Mg)) de anfíboles de las facies máficas y félsica estos se presentan parcialmente superpuestos indicando un equilibrio químico y tal vez un similar origen (Figs.

4 y 5). La relación de $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ para estos anfíboles, varia entre 0,42 hasta 0,66 valores similares se citaron para anfíboles típicos de granitóides calcoalcalinos.

Biotitas - Las biotitas se presentan con formas planares de bordes irregulares, presentan coloración marrón, atribuido a bajas proporciones de TiO_2 , (1.2% a 1.8%); el TiO_2 para rocas graníticas oscila en 3.14% de acuerdo a los datos de Deer *et al.* (1978). El pleocroismo es variable desde castaño claro (x) a castaño oscuro (z). La asociación de biotita,



Figuras 4 y 5 - Diagrama de clasificación de anfíboles (de acuerdo a Leake, 1978) Símbolos: Facies porfíricas PJ-10B (■) → núcleo (□) → márgenes PJ-4B (▼) → márgenes (▽) → núcleo; Facies máficas PJ-4A (○) → núcleo.

Tabla 3 - Análisis químicos de los anfíboles de las facies porfíricas, calculados a 23 óxigenos.

Grano	muestra PJ-10B										muestra PJ- 4B							
	1	1	1	1	1	2	2	2	2		1	1	2	2	3	3	3	
Punto	margén	margén	centro	centro	centro	margén	margén	centro	centro		margén	centro	centro	margén	margén	interno	centro	
SiO ₂	50.890	50.890	48.090	46.810	47.580	45.850	45.980	45.890	45.540		46.000	46.370	46.330	47.350	47.520	46.530	47.930	
TiO ₂	0.020	0.030	0.660	0.660	0.740	0.860	1.010	1.070	1.240		1.370	1.100	0.760	0.480	1.030	0.910	0.700	
Al ₂ O ₃	3.540	4.730	6.380	6.930	6.630	7.560	7.620	7.240	7.810		7.570	7.580	7.330	7.390	6.700	7.540	6.750	
Cr ₂ O ₃	0.000	0.000	0.110	0.000	0.000	0.040	0.030	0.070	0.000		0.000	0.090	0.030	0.070	0.030	0.020	0.000	
FeO	12.980	14.290	14.850	15.080	15.730	15.970	15.940	16.340	15.880		17.020	16.250	15.980	17.210	15.360	15.900	15.420	
MnO	0.550	0.330	0.460	0.520	0.390	0.460	0.460	0.410	0.540		0.450	0.480	0.400	0.440	0.360	0.360	0.480	
MgO	15.610	14.480	13.760	12.600	13.200	12.580	12.180	12.610	12.980		12.410	12.700	12.730	12.540	13.410	12.690	13.150	
NiO	0.040	0.000	0.100	0.120	0.070	0.000	0.000	0.070	0.000		0.030	0.120	0.150	0.050	0.060	0.090	0.010	
CaO	12.580	11.970	11.710	11.760	11.470	11.250	11.810	11.260	11.630		11.430	11.550	11.630	11.500	11.500	11.570	11.570	
Na ₂ O	0.440	0.610	1.060	1.000	1.290	1.200	0.930	1.290	1.1200		1.210	1.280	1.200	1.130	1.340	1.180	1.120	
K ₂ O	0.250	0.320	0.710	0.760	0.730	0.990	0.860	0.960	0.970		0.990	0.910	0.890	0.840	0.800	0.900	0.810	
BaO	0.080	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.190	0.040	0.000	0.000	0.260	
Total	96.980	97.650	97.880	96.290	97.830	96.730	96.810	97.220	97.710		98.480	98.380	97.630	99.020	98.120	97.70	98.200	
TSi	7.468	7.426	7.093	7.048	7.053	6.903	6.916	6.898	6.801		6.843	6.883	6.934	6.982	7.018	6.930	7.078	
TAIIV	0.532	0.574	0.907	0.952	0.947	1.097	1.084	1.102	1.199		1.157	1.117	1.066	1.018	0.982	1.070	0.922	
CAIVI	0.080	0.238	0.201	0.277	0.210	0.244	0.266	0.180	0.175		0.169	0.200	0.226	0.265	0.183	0.253	0.252	
TTh	0.002	0.003	0.073	0.075	0.083	0.097	0.114	0.121	0.139		0.153	0.123	0.086	0.053	0.114	0.102	0.078	
CFe	0.090	1.744	1.832	1.899	1.950	2.011	2.006	2.054	1.983		2.118	2.018	2.000	2.122	1.897	1.981	1.905	
CMn	0.068	0.041	0.057	0.066	0.049	0.059	0.059	0.052	0.068		0.057	0.060	0.051	0.055	0.045	0.045	0.060	
BMg	3.415	3.150	3.026	2.828	2.917	2.824	2.731	2.826	2.890		2.752	2.810	2.840	2.756	2.952	2.818	2.895	
BCa	1.978	1.871	1.851	1.897	1.822	1.815	2.004	1.813	1.861		1.821	1.837	1.865	1.817	1.820	1.846	1.830	
ANa	0.125	0.173	0.303	0.292	0.371	0.350	0.251	0.376	0.324		0.349	0.368	0.348	0.323	0.384	0.341	0.321	
AK	0.047	0.060	0.134	0.146	0.138	0.190	0.165	0.184	0.185		0.188	0.172	0.170	0.158	0.151	0.171	0.153	
BNa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Mg/(Mg+Fe)	0.690	0.640	0.620	0.590	0.600	0.580	0.570	0.570	0.590		0.560	0.580	0.580	0.560	0.615	0.580	0.600	

anfíboles, apatita, titanita, epidoto y minerales opacos es muy frecuente y son indicadores de elevada fO₂ (Tabla 5).

La biotita envuelve y está englobada por anfíboles, esto sugiere una cristalización concomitante de ambos, a menudo presenta halos pleocroicos, los cuales son atribuidos a la presencia de circón idiomórfico u otros minerales, que contienen elementos pertenecientes a la serie radiactiva de U-Ra (uranio-radio) y Th-Ac (torio-actínidos). Las biotitas forman una serie química continua e isoestructural con las flogopitas y para su diferenciación se utiliza la relación de Mg:Fe; utilizando los diagramas propuesto por Deer *et al.* (1978), se representan en el campo de las micas trioctaédricas normales. Las biotitas pueden ser divididas en biotitas magnesianas (facies máficas) y biotitas férricas (facies félsicas). Las biotitas del complejo Pajeú son magnesianas, con una relación entre Mg/(Fe + Mg) = 0,59 a 0,63 (Fig. 6).

Los tenores de Al₂O₃ y TiO₂ varían entre 14,73 % a 15,61 % y entre 1,2 % a 1,8 % respectivamente, estos valores son similares a las biotitas de las asociaciones ricas en potasio con afinidad shoshonítica.

Feldspatos - El estudio de la evolución de estos minerales fue realizado en base al diagrama ternario Ab-An - Or. En secciones delgadas los K-feldspatos están formando cristales con un tamaño que oscila entre 9 mm hasta 3 mm es, principalmente, microclino perítico (tipo vénulas y en llamas). Las plagioclasas se presentan con típicas maclas polisintéticas, a veces flexuradas, reflejando que fueron sometidas a esfuerzos, otras veces se observa una zonación óptica. En el diagrama triangular Ab - Or - An la mayoría de las muestras se concentran en los polos de Ab y Or, donde los feldspatos alcalinos corresponden a ortoclasa con una variación entre Or 96,7 a 92,1. Las plagioclasas presentan contenidos de Ab 79,1 a 88,5 que corresponden a oligoclasa; los puntos intermedios entre

Tabla 4 - Análisis químicos de los anfíboles de las facies máficas, calculados a 23 óxigenos.

Grano	muestra PJ-4A							
	1	1	1	1	2	3	3	4
Punto	margén	margén	margén	centro	margén	margén	centro	margén
SiO2	48.460	49.530	48.390	48.620	65.930	50.720	49.990	48.150
TiO2	0.610	0.540	0.850	0.800	0.000	0.240	0.690	0.750
Al2O3	6.350	5.420	6.290	6.240	19.710	4.930	5.470	6.050
Cr2O3	0.100	0.000	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.070
FeO	14.310	14.030	14.790	14.800	0.100	13.730	14.850	14.660
MnO	0.410	0.430	0.400	0.450	0.000	0.320	0.460	0.460
MgO	13.580	14.620	14.120	13.810	0.040	15.250	14.540	13.930
NiO	0.080	0.010	0.090	0.000	0.010	0.080	0.030	0.000
CaO	12.130	11.860	11.820	11.750	0.180	12.150	12.300	11.630
Na2O	0.930	0.820	1.120	1.210	7.670	0.930	0.890	0.950
K2O	0.700	0.600	0.720	0.700	4.780	0.520	0.590	0.640
BaO	0.000	0.000	0.000	0.040	0.230	0.040	0.070	0.000
Total	97.670	97.850	98.600	98.420	98.660	98.890	99.870	97.280
TSi	7.141	7.245	7.082	7.089	8.540	7.325	7.204	7.126
TAIV	0.859	0.755	0.918	0.911	0.000	0.675	0.796	0.874
CAVI	0.243	0.179	0.166	0.229	3.007	0.163	0.133	0.180
TII	0.068	0.059	0.094	0.088	0.000	0.026	0.075	0.083
CFe	1.736	1.717	1.810	1.805	0.011	1.658	1.790	1.814
CMn	0.051	0.053	0.050	0.056	0.000	0.039	0.056	0.058
BMg	2.983	3.188	3.081	3.002	0.008	3.283	3.124	3.073
BCa	1.915	1.804	1.853	1.836	0.000	1.880	1.900	1.844
ANa	0.266	0.233	0.318	0.342	1.926	0.260	0.249	0.273
AK	0.132	0.112	0.134	0.130	0.790	0.096	0.108	0.121
BNa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg/(Mg+Fe)	0.620	0.640	0.630	0.620	0.420	0.660	0.630	0.620

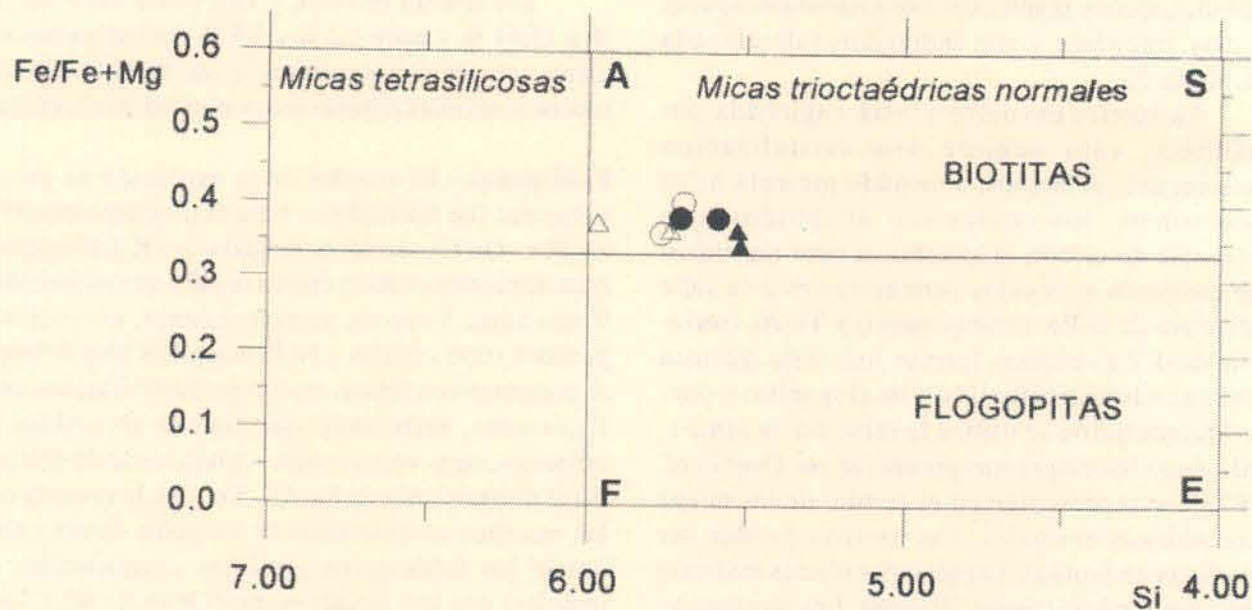


Figura 6 - Diagrama Si vs Fe/(Fe+Mg) para la clasificación de las micas (Deer et. al.,1978) del batolito Pajeú, donde son representados los polos anita (A); flogopita (F); siderofilita (S); eastonita (E) Símbolos: PJ-4B (Δ) → márgenes; (▲) → núcleo PJ-4A (○) → márgenes; (●) → núcleo.

Tabla 5 - Análisis químicas de las biotitas del Complejo Pajeú.

	muestra PJ-4A Biotita - facie máficas				muestra PJ-4 Biotita - facie porfírica			
Grano	1	1	2	2	1	1	2	2
Punto	margén	centro	margén	centro	margén	centro	margén	centro
SiO2	37.68	36.96	38.11	37.56	38.44	37.50	38.45	38.11
TiO2	1.34	1.31	1.53	1.60	1.21	1.30	1.63	1.83
Al2O3	14.73	15.28	14.80	14.65	15.61	15.30	15.17	14.37
Cr2O3	0.11	0.03	0.03	0.00	0.26	0.12	0.0	0.03
FeO	16.37	16.51	17.58	16.55	15.43	16.76	15.81	16.28
MnO	0.27	0.32	0.28	0.37	0.33	0.27	0.30	0.42
MgO	14.31	15.10	14.69	14.71	15.10	16.06	14.61	14.32
NiO	0.02	0.09	0.02	0.09	0.05	0.07	0.04	0.0
CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Na2O	0.03	0.05	0.15	0.10	0.05	0.02	0.07	0.06
K2O	9.87	8.95	9.91	10.01	10.01	8.17	10.02	10.11
BaO	0.07	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.15	0.15
Total	94.80	94.60	97.11	95.65	96.50	95.56	96.25	95.68
CSi	5.773	5.590	5.703	5.710	5.747	5.539	5.977	5.520
CAIIV	2.227	2.410	2.297	2.290	2.253	2.461	2.023	2.451
BAIVI	0.431	0.312	0.311	0.333	0.496	0.20	0.754	0.0
BTi	0.154	0.149	0.172	0.183	0.136	0.144	0.191	0.199
BFe	2.098	2.088	2.200	2.104	1.929	2.070	2.055	1.972
BMn	0.035	0.041	0.035	0.048	0.042	0.034	0.40	0.052
BMg	3.269	3.405	3.277	3.333	3.366	3.536	3.386	3.092
ACa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.817
ANa	0.009	0.015	0.044	0.029	0.14	0.006	0.21	0.017
AK	1.929	1.727	1.892	1.941	1.909	1.539	1.987	1.868
Al TOTAL	2.658	2.722	2.608	2.623	2.749	2.661	2.777	2.451
Fe/(Mg+Fe)	0.36	0.38	0.40	0.38	0.36	0.36	0.37	0.34

Ab-Or representan procesos de exsolución (Fig. 7). Las Tablas 6, 7, 8 y 9 muestran los valores obtenidos para los feldespatos del batólito Pajeú calculadas a 20 cationes.

Opacos - Los minerales opacos se presentan tanto magmáticos como posmagmáticos, los minerales primarios son idiomórficos a subidiomórficos, de formas cúbicas, generalmente están incluidos en las hornblendas y en las biotitas; los análisis de microsonda reflejan porcentajes de la molécula de FeO de 89 % que corresponde a magnetita. Las magnetitas de alteración se presentan siguiendo los clivajes de la biotita y como alteración de hornblendas, son generalmente alotriomorfos. La presencia de magnetita indica una alta fO₂ del magma.

GEOBAROMETRIA

Diversos autores han estudiado la variación del contenido de Al en las hornblendas de granitíoides

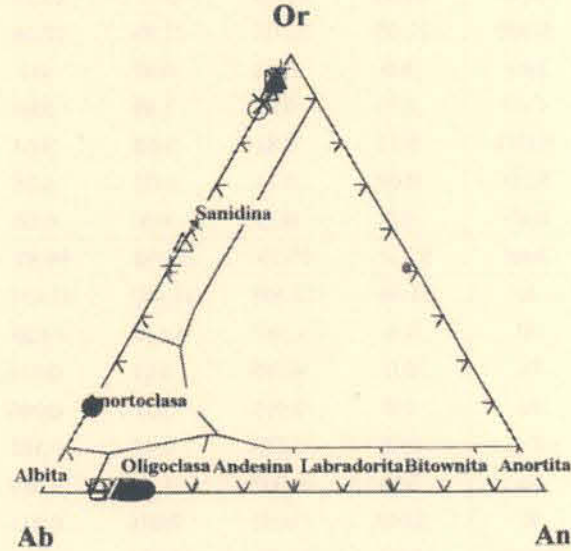


Figura 7 - Diagrama triangular An - Or - Ab aplicado a los feldespatos de las diferentes facies del Complejo Pajeú. Símbolos: PJ-10B (○) → márgenes; (●) → núcleo PJ-4B (Δ) → márgenes (X) → intermedio; (▲) → núcleo PJ-4A (□) → márgenes; (+) → intermedio (■) → núcleo.

Tabla 6 - Análisis químicos de plagioclasas de las facies porfíricas.

	muestra PJ-4B							muestra: PJ-10B						
Grano	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
Punto	margén	intermedio	centro	centro	centro	margén	centro	margén	margén	intermedio	intermedio	centro	centro	
SiO2	66.650	64.410	64.750	62.110	62.890	64.990	64.460	65.660	62.440	64.280	67.800	63.340	65.460	
Al2O3	22.400	22.350	22.820	22.580	22.710	22.160	22.320	21.130	23.000	22.810	20.470	23.100	20.620	
FeO	0.000	0.000	0.050	0.050	0.010	0.000	0.120	0.070	0.000	0.140	0.000	0.080	0.000	
CaO	2.870	3.480	3.540	3.310	3.540	3.000	3.110	2.090	3.770	3.430	0.280	4.010	0.150	
Na2O	8.940	8.930	8.770	8.850	8.780	9.390	9.250	9.180	9.070	8.990	9.300	8.520	8.460	
K2O	0.060	0.090	0.110	0.060	0.020	0.100	0.080	0.050	0.070	0.170	1.700	0.080	3.100	
BaO	0.000	0.070	0.000	0.000	0.070	0.040	0.000	0.090	0.000	0.000	0.140	0.000	0.040	
Total	100.930	99.340	100.040	96.970	98.080	99.690	99.340	98.260	98.350	99.810	99.700	99.120	97.820	
Si	5.731	5.679	5.654	5.602	5.613	5.708	5.683	5.801	5.580	5.642	5.902	5.596	5.833	
Al	2.268	2.321	2.347	2.398	2.387	2.292	2.317	2.109	2.420	2.358	2.098	2.404	2.165	
Fe	0.000	0.000	0.004	0.004	0.001	0.000	0.009	0.005	0.000	0.010	0.000	0.006	0.000	
Ba	0.000	0.002	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	0.005	0.000	0.001	
Ca	0.264	0.329	0.331	0.320	0.339	0.282	0.294	0.198	0.361	0.323	0.026	0.380	0.014	
Na	1.491	1.527	1.485	1.548	1.519	1.599	1.581	1.573	1.572	1.530	1.570	1.472	1.462	
K	0.007	0.010	0.012	0.007	0.009	0.0110	0.009	0.006	0.008	0.019	0.189	0.009	0.330	
cationes	19.660	19.800	19.770	19.870	19.840	19.850	19.850	19.690	19.950	19.840	19.740	19.820	19.850	
Ab	84.600	81.800	81.200	82.600	81.400	84.500	83.900	88.500	81.000	81.700	88.000	79.100	79.900	
An	15.000	17.600	18.100	17.100	18.200	14.900	15.600	11.100	18.600	17.300	1.500	20.400	0.800	
Or	0.400	0.500	0.700	0.400	0.500	0.600	0.500	0.300	0.400	1.100	10.600	0.500	19.300	

Tabla 7 - Analisis químicos de plagioclase de las facies máficas.

	muestra: PJ-4A			
grano	1	1	1	1
punto	margén	margén	intermedio	centro
SiO2	63.66	65.35	64.2	65.21
Al2O3	21.65	22.03	21.96	22.38
FeO	0.0	0.12	0.07	0.1
CaO	2.50	0.09	2.48	3.09
Na2O	9.32	8.81	9.62	9.01
K2O	0.08	0.14	0.07	0.05
BaO	0.0	0.19	0.0	0.08
Total	97.21	99.73	98.40	99.92
Si	11.48	11.505	11.457	11.454
Al	4.6	4.567	4.615	4.629
Fe	0.0	0.018	0.01	0.015
Ba	0.0	0.013	0.0	0.006
Ca	0.48	0.583	0.47	0.582
Na	3.26	3.007	3.32	3.069
K	0.018	0.031	0.016	0.011
Cationes	19.84	19.72	19.901	19.766
Ab	86.7	83.0	87.2	83.8
An	12.8	16.1	12.4	15.9
Or	0.5	0.9	0.4	0.3

calcoalcalinos como indicadores de presión de cristalización (Hammarstron & Zen, 1986; Hollister et. al., 1987; Schmidt 1992 entre otros). Hammarstron & Zen (1986) y Hollister *et al.*, (1987) demostraron mediante estudios experimentales que las hornblendas formadas a presiones mayores que 8 Kbar presentan contenidos de $Al^{total} > 2,0$, mientras tanto aquellas formadas a presiones menores de 3 Kbar tienen contenidos de $Al^{total} < 2,0$.

Hammarstrom & Zen (1986) observaron una correlación lineal entre el contenido de Al en las hornblendas y la presión de cristalización, estudiando cinco plutones graníticos calcoalcalinos donde la paragénesis para todos ellos era plagioclase (oligoclase-andesina), feldespatos alcalinos, biotita, hornblenda, titanita, cuarzo y magnetita o ilmenita. Esta paragénesis es la encontrada en las secciones delgadas del batolito Pajeú.

Hollister *et al.*, (1987) presentó un geobarómetro para cuerpos plutónicos calcoalcalinos que cristalizan a presiones intermedias entre (4-6 Kbars). La ecuación utilizada en este trabajo es la siguiente:

$$P (\pm 1) = - 4.76 \pm 5.64 Al^{total}$$

Tabla 8 - Análisis químicos de feldespatos alcalinos de las facies porfíricas.

	muestra PJ-4B				muestra PJ-10B					
grano	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
punto	margén	intermo	intermo	centro	centro	margén	margén	intermo	intermo	centro
SiO2	62.39	64.16	63.19	62.82	62.85	63.39	63.32	64.14	63.66	63.75
Al2O3	19.08	18.23	18.33	18.78	18.78	18.99	18.81	18.52	18.70	18.93
FeO	0.01	0.0	0.05	0.03	0.01	0.03	0.09	0.04	0.06	0.05
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Na2O	0.91	0.64	1.25	0.71	0.60	1.39	0.70	0.72	0.77	0.86
K2O	15.33	16.28	15.05	15.99	15.93	14.50	15.51	15.30	15.42	15.30
BaO	0.42	0.22	0.33	0.07	0.37	0.79	0.73	1.25	1.38	0.33
Total	98.15	99.53	98.21	98.41	98.53	99.09	99.16	99.98	99.93	99.22
Si	5.882	5.995	5.963	5.917	5.918	5.914	5.927	5.970	5.927	5.927
Al	2.118	2.006	2.037	2.083	2.082	2.086	2.073	2.03	2.073	2.073
Fe	0.001	0.000	0.004	0.002	0.001	0.002	0.007	0.003	0.007	0.004
Ba	0.016	0.008	0.012	0.003	0.014	0.029	0.027	0.046	0.027	0.012
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Na	0.166	0.116	0.229	0.130	0.110	0.251	0.127	0.13	0.127	0.155
K	1.844	1.940	1.812	1.921	1.913	1.726	1.852	1.817	1.852	1.813
Cationes	20.09	20.08	20.08	20.12	20.09	20.04	20.03	19.97	20.03	20.01
Ab	8.3	5.6	11.2	6.3	5.4	12.7	6.4	6.7	6.4	7.9
An	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Or	91.7	94.4	88.8	93.7	94.6	87.3	93.6	93.3	93.6	92.1

Tabla 9 - Análisis químicos de feldespatos alcalinos de las facies máficas.

	muestra PJ-4A K-		
Grano	1	1	1
Punto	margén	interno	centro
SiO2	63.08	63.58	63.03
Al2O3	18.76	17.77	18.70
FeO	0.10	0.0	0.11
CaO	0.0	0.0	0.0
Na2O	0.64	0.37	0.51
K2O	16.12	16.22	16.08
BaO	0.58	0.83	0.46
Total	99.28	98.77	98.89
Si	11.83	11.995	11.85
Al	4.145	3.948	4.142
Fe	0.016	0.0	0.017
Ba	0.043	0.061	0.034
Ca	0.0	0.0	0.0
Na	0.233	0.135	18.6
K	3.859	3.904	3.858
Catións	20.132	20.004	20.091
Ab	5.7	3.3	4.6
An	0.0	0.0	0.0
Or	94.3	96.7	95.4

Posteriormente Schmidt (1992) presentó una nueva calibración para este geobarómetro con una aproximación de $\pm 0,6$ Kbar. Este autor realizó experimentos en condiciones muy similares a las que ocurren en la naturaleza, y la ecuación que presenta es la siguiente:

$$P (\pm 0.6) = 3.01 \pm 4.76 \text{ Al}^{\text{total}}$$

Utilizando los análisis de microsonda electrónica se determinaron las siguientes presiones para el batolito Pajeú. (Tabla 10).

Epidoto magmático como un indicador de presión

Algunos autores entre otros Naney (1983) y Zen & Hammarstrom (1984) reconocieron que el epidoto puede estar en equilibrio en magmas calcoalcalinos a presiones entre 6 - 8 Kbar. Existen en la literatura criterios texturales y químicos para determinar si el epidoto es de origen primario o secundario. Algunos criterios texturales que se observaron en los epidotos de Pajeú son: formas idiomórficas, bajo pleocroísmo, epidoto incluido en biotitas y como núcleo de allanitas. El criterio químico, de acuerdo con Vyhna

Tabla 10 - Determinación de la presión para las rocas del batolito Pajeú - PE, Brasil.

Muestras	Al (IV) media	Al (VI) media	Al (tot) media	P(1)	P(2)
PJ-4A Enclave PJ-4B Facies	0.816	0.186	1.0024	1.01 Kbar	1.76 Kbar
Porfírica PJ-10B Facies	1.069	0.176	1.245	2.26 Kbar	2.91 Kbar
Porfírica	0.837	0.27	1.107	1.48 Kbar	2.25 Kbar

P(1): presión determinada utilizando la ecuación de Hollister *et al.* (1987); P(2): presión determinada utilizando la ecuación de Schmidt (1992).

et. al. (1991), está basado en los contenidos de Pistacita (Ps) [$Ps = Fe^{+3} / (Fe^{+3} + Al)$]; epidotos formados a partir de la alteración de plagioclasas tienen contenidos que varían entre Ps_0 a Ps_{24} , los formados a partir de la alteración de la biotita varía entre Ps_{36} a Ps_{48} y los de origen magmático presentan un intervalo de Ps_{25} a Ps_{29} . Otros autores como Tulloch (1986) y Zen (1988) relacionan al epidoto magmático como indicador de fO_2 (fugacidad de oxígeno) con límites variando entre HM (hematita - magnetita) y NiNiO (níquel - óxido de níquel). El epidoto se enriquece en Fe cuando el magma presenta alta fO_2 y es más aluminoso con un decrecimiento de la fO_2 .

Epidoto magmático formados a 8 Kbar fueron encontrados en diques dacíticos de Colorado Front Ranch (U.S.A), los cuales fueron emplazados entre 2 hasta 4 Kbar, el epidoto está presente como resultado de un ascenso rápido del magma en un proceso de *quench* con una paragénesis de alta presión (Dawes & Evans, 1991, in Brandon *et al.* 1994).

Brandon *et al.* (1994), estudiaron epidotos magmáticos en el batolito White Creek en Columbia Británica, el epidoto tienen las característica composicionales de un epidoto magmático típico con contenidos de Ps entre Ps_{27} hasta Ps_{29} . Estos autores calcularon la presión utilizando el geobarómetro de Al en hornblenda y determinaron presiones entre 2.2 Kbar hasta 4.0 Kbar; la presencia de epidoto magmático en plutones de niveles superficiales se debe a que el epidoto fue preservado y transportado desde su origen por un ascenso rápido del magma.

Los epidotos presentes en el cuerpo plutónico de Pajeú tienen características texturales de un probable origen magmático y corresponden al Tipo III de la clasificación de Sial (1990), se observaron también epidotos secundarios como producto de alteración de las plagioclasas. Los resultados de las presiones determinadas para este cuerpo corresponden a cuerpos de naturaleza epizonal, con epidoto magmático en una paragénesis de alta temperatura. Esto es semejante a lo ocurre en el batolito de White Creek, donde el mecanismo correspondería a un ascenso rápido del magma sin

producirse contaminación con las rocas de caja (proceso de ascenso por diques mas que por diapiros).

GEOTERMOMETRIA

Blundy & Holland (1990) estudiando el macizo de Adamello (Italia) llegaron a la conclusión que los principales intercambios catiónicos que se producen entre anfíboles y plagioclasas son dependientes de la temperatura. Estos autores proponen un geotermómetro para anfíboles cálcicos en equilibrio con plagioclase para rocas saturadas en sílice. La ecuación propuesta como geotermómetro está basado en el contenido de Al^{IV} en las hornblendas coexistiendo con plagioclase.

$$T = \frac{0.677 P - 48.98 + Y}{-0.0429 - 0.008314 \ln K}$$

$$K = \frac{(Si - 4)}{8 - Si} X_{Ab}^{Plag}$$

Donde Si: es el número de átomos por unidad de fórmula en los anfíboles; P: presión, determinada por otros métodos y medidos en Kbar; Y: representa la plagioclase no ideal, con $Y = 0$ para $X_{ab} > 0.5$ e $Y = -8.066 + 25.5 (1 - X_{ab})^2$ para $X_{ab} < 0.5$. X: es el contenido de albite en las plagioclasas. T: temperatura obtenida en grados Kelvin ($^{\circ}K$) (Tabla 11).

Holland & Blundy (1994) presentó el mismo geotermómetro modificado y proponen dos nuevas

Tabla 11 - Determinación de la temperatura para las rocas del batolito de Pajeú- PE, Brasil.

Muestras	Si	Xab	P	K	T(*)
PJ-4A Enclave	7.18	84.85	1.76 Kbar	3.25	630 $^{\circ}C$
PJ-4B Facies Porfírica	6.93	85.05	2.91 Kbar	2.32	688 $^{\circ}C$
PJ-10B Facies Porfírica	7.16	84.75	2.25 Kbar	3.16	639 $^{\circ}C$

Tabla 12 - Determinación de la temperatura para las rocas del batolito de Pajeú - PE, Brasil; utilizando el método de Holland & Blundy (1994).

Muestras	0 Kb	2 Kb	4 Kb
PJ-4A Enclave	671°C	650°C	629°C
PJ-4B Facies Porfírica	690°C	671°C	652°C
PJ-10B Facies Porfírica	684°C	665°C	646°C

P: presión basada en la calibración de Schmidt (1992);
T: temperatura utilizando la ecuación de Blundy & Holland (1990);
K: constante de equilibrio [(Si-4)/(8-Si)]X_{ab} de Blundy & Holland (1990).

ecuaciones para el cálculo de la temperatura, una para rocas saturadas y otra para rocas no saturadas en cuarzo. Para el cálculo de las temperaturas del batolito Pajeú se utilizaron los valores promedios de los análisis químicos de los anfíboles y de las plagioclasas y con la ayuda de un software se obtuvieron las temperaturas promedios para este granitoide con una aproximación de $\pm 30^\circ\text{C}$ (Tabla 12).

CONCLUSIONES

El batolito Pajeú está constituido por rocas sieníticas a sienograníticas, con variable contenido de minerales accesorios. Dos facies texturales fueron descriptas, una porfírica predominante y una facie subordinada de grano; ambas facies presentan enclaves melanocráticos de composición sienítica, de igual origen que las facies porfíricas y menos diferenciados. Estos enclaves podrían corresponder a facies cumuláticas tempranas. Entre ambas facies se observaron evidencias de procesos de mezcla de magmas (en los afloramientos) y procesos de coexistencia de magmas (desde el punto de vista geoquímico y mineraloquímico).

Los anfíboles pertenecen al grupo de los anfíboles cálcicos representados por hornblendas y edenitas y otra más magnesianas que son las hornblendas actinolíticas. Las biotitas corresponden a las micas trioctaédricas normales, son magnesianas y subaluminosas. Los feldespatos están representados por las plagioclasas (An₁₀₋₂₀) y feldespatos alcalinos como ortosa y microclino (Or₈₇₋₉₇).

Las presiones obtenidas para este batolito, utilizando la ecuación de Hollister et. al. (1987) fueron: 1.48 Kb a 2.26 Kb para las facies porfíricas y 1.01 Kb para las facies máficas; mediante la ecuación de Schmidt (1992) los resultados fueron: 2.25 Kb a 2.91 Kb para las facies porfíricas y 1.76 Kb para las facies máficas. Para la temperatura se utilizaron las ecuaciones propuestas por Blundy & Holland (1990)

y Holland & Blundy (1994) dando las siguientes temperaturas 639°C a 688°C para las facies porfíricas, 630°C para las facies máficas y 665°C a 671°C para las facies porfíricas y 650°C para las facies máficas respectivamente.

La presión para el batolito de Pajeú es para cuerpos de naturaleza epizonal; la presencia de epidoto magmático en una paragénesis de alta temperatura, corresponde a cuerpos emplazados con un rápido ascenso, sin producirse contaminación con la roca de caja en un proceso de emplazamiento por diques.

Agradecimientos - Se agradece a PADCT/FINEP (convenio 65.930.619-00) por el apoyo financiero. Se agradece especialmente al profesor A. N. Sial (UFPE) por la orientación de este trabajo y a la Comisión Nacional de Energía Atómica por haberme permitido la realización de este postgrado. La autora agradece también la lectura crítica del manuscrito por parte del Dr. Lauro Stoll Nardi, así como las sugerencias aportadas por los árbitros de la Comisión Editora de la revista Pesquisas, quienes han contribuido a mejorar la versión final del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Blundy, J.D.; Holland, T.J.B. 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 104: 208-224.

Brandon, A.D.; Creaser, R.A.; Chacko, T. 1994. Rapid ascent of granitoid magmas from the lower crust. In: GOLDSCHMIDT CONFERENCE EDINBURGH. London. *Mineralogical Magazine*, 58A: 115-116.

Brito Neves, B.B. 1975. *Regionalização geotectônica do Precambriano nordestino*. São Paulo. 198p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Da Silva Filho, A.F. 1989. *Shoshonitic and ultrapotassic intrusive suites in the Piancó-Alto Brígida belt, Pernambuco State, Brazil*. 422p. Ph Doctoral. Royal School of Mines, Imperial College. London.

Deer, W.A.; Howie, R.A.; Zussman, J. 1978. *Rocks forming Minerals*. Logmans. London, 558p.

Guimarães, I.P. 1989. *The petrological evolution and tectonic association of the Bom Jardim Complex, Pernambuco state, NE-Brazil*. 333p. Ph Doctoral. Royal School of Mines, Imperial College, London.

Guimarães, I.P.; Da Silva A.F.; Nolan, J.; Williams, T. 1993. The mineral chemistry of the brasiliano age Bom Jardim and Toritama shoshonitic complexes, State of Pernambuco, Northeast Brazil. Workshop Magmatismo granítico e Mineralizações associadas (MAGMA) *Academia Brasileira de Ciências*, 65 (supl. 1): 83-106.

Guimarães, I.P.; Da Silva A.F. 1990. Magmatismo intrusivo shoshonítico na faixa Pajeú-Paraíba: O Complexo Bom Jardim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. *Anais...*, Natal, SBG. v. 4, p. 1739-1751.

Hammarstron, J.M.; Zen, E.-An. 1986. Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer. *American Mineralogist*, 71: 1297-1313.

Holland, T.J.B.; Blundy, J.D. 1994. Non-ideal interactions in calcic amphibole and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 116: 433-44.

- Hollister, L.S.; Grissom, G.C.; Peters, E.K.; Stowell, H.H.; Sisson, V.B. 1987. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *American Mineralogist*, **72**: 231-239.
- Leake, B.E. 1978. Nomenclature of amphiboles. *Mineralogical Magazine*, **42**: 533-563.
- McMurry, J. 1982 **Petrology and Rb-Sr geochemistry of Monte das Gameleiras and Dona Inês plutons, northeastern Brazil**. Austin 180p. Master of Art Thesis University of Texas, Austin.
- Morrison, G.W. 1980. Characteristic and tectonic setting of the shoshonite rocks. *Lithos*, **13**: 97-108.
- Naney, M.T. 1983. Phase equilibria of rock-forming ferromagnesian silicates in granitic systems. *American Journal of Science*, **283**: 993-1033.
- Santos, E.J. dos. 1995. **O complexo granítico Lagoa das Pedras: acreção e colisão na região de Floresta Pernambuco, Província Borborema**. São Paulo. 225p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Schmidt, M.W. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al in hornblende barometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **110**: 304-310.
- Sial, A.N. 1990. Epidote-bearing calc-alkalic granitoids in Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **20** (1-4): 88-100.
- Tulloch, A.J. 1986. Comment on "Implications of magmatic epidote-bearing plutons on crustal evolution in the accreted terranes of northwestern North America" and "Magmatic epidote and its petrologic significance". *Geology*, **14**: 186-187.
- Vernon, R.H. 1986. K-feldspar Megacrysts in Granites - Phenocrysts, not Porphyroblasts. *Earth Science Reviews*, **23**: 1-63.
- Vyhnal, C.R. ; McSween, H.Y. Jr.; Speer J.A. 1991. Hornblende chemistry in southern Appalachian granitoids: Implications for aluminum hornblende thermobarometry and magmatic epidote stability. *American Mineralogist*, **76**: 176-188.
- Zen, E-An; Hammarstrom, J.M. 1984. Magmatic epidotic and its petrologic significance. *Geology*, **12**: 515-518.
- Zen, E. 1988. **Tectonic significance of high-pressure plutonic rocks in the Western Cordillera of North America**. In W.G. ERNST: The Metamorphism and crustal evolution of the western United States, p. 41-67. Rubey, v. VII, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.